

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Diagnostika přeplňovaných motorů

Diagnostics of turbocharged engines

Student:

Lukáš Kopečný

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Richtář

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Kopečný**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Téma: Diagnostika přeplňovaných motorů
Diagnostics of Turbocharged Engines

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor problému
3. Poruchy a diagnostika turbodmychadel
4. Zhodnocení a doporučení
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Matějka, R.: Vozidla silniční dopravy I. Bratislava: ALFA Bratislava. 1990. ISBN 80-05-00392-7
Matějka, R.: Vozidla silniční dopravy II. Bratislava: ALFA Bratislava. 1990. ISBN 80-7100-074-4
Vlk, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Brno: Vydavatelství Vlk. 2001
Vlk, F.: Motorová vozidla I, Brno: VUT Brno. 1989. ISBN 80-214-0038-2

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Richtář**

Datum zadání: 14.12.2012
Datum odevzdání: 20.05.2013





doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě 20.5.2013

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....20.5.2013


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Kopečný

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dešná 69, Slušovice 763 15

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOPEČNÝ, L., *Diagnostika přeplňovaných motorů : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 47 s. Vedoucí práce : Richtář, M.

Práce se zabývá diagnostikou přeplňovaných motorů. Obsahuje shrnutí jednotlivých druhů přeplňování, podrobný rozbor problematiky turbodmychadla a druhů jeho regulací. Hlavním cílem této práce je rozebrání různých typů poruch turbodmychadel a následná oprava regulace plnicího tlaku. Závěrem je porovnání možných oprav vzhledem k ekonomické výhodnosti.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KOPEČNÝ, L., *Diagnostics of turbocharged engines : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transportation, 2013, 47 p. Thesis head : Richtář, M.

The work deals with turbocharged engine diagnostics. It contains a summary of different types of turbocharging, detailed analysis of issues with turbocharger and types of regulations. main aim of this project is analysed a different types(kinds) of faults and subsequent repair of the turbocharger boost pressure control. Finally, there is a comparison between possible repairs according to economic advantages.

Obsah

1	Úvod	9
2	Historie turbodmychadel	9
3	Přepřínování	10
3.1	Přepřínování spalovacích motorů.....	10
3.1.1	Mechanické přepřínování	13
3.1.2	Přepřínování zážehových motorů turbodmychadlem	13
3.1.3	Přepřínování vznětových motorů turbodmychadlem	14
3.1.4	Kompoundní přepřínování	15
3.1.5	Přepřínování tlakovými vlnami.....	15
3.2	Princip činnosti turbodmychadla	16
3.3	Jednotlivé části a konstrukce turbodmychadla	16
3.4	Druhy regulace přepřínování.....	21
3.4.1	Regulace odpouštěním výfukových plynů před turbínou	22
3.4.2	Regulace natáčením rozváděcích lopatek turbíny	22
3.4.3	Regulace plnicího tlaku změnou šířky statoru turbíny	23
3.4.4	Regulace plnicího tlaku řídící směrovou klapkou	24
3.4.5	Kombinovaná regulace plnicího tlaku	25
3.4.6	Snímače	25
3.4.7	Akční členy	27
3.5	Chlazení plnicího vzduchu.....	27
4	Poruchy a diagnostika turbodmychadel	28
4.1	Druhy poruch	28
4.1.1	Znečištění oleje.....	29
4.1.2	Vniknutí cizího předmětu	30
4.1.3	Nedostatečné mazání	31
4.1.4	Nadměrná rychlost a plnění	31
4.1.5	Únik oleje.....	32
4.2	Diagnostika.....	34
4.2.1	EOBD	34
4.2.2	Sériová diagnostika	34
4.2.3	Paralelní diagnostika.....	35

4.3	Porucha regulace plnicího tlaku a následná oprava.....	36
4.3.1	Zjištění závady na vznětovém motoru 1.9 TDI	36
4.3.2	Kontrola turbodmychadla	38
4.3.3	Regulace plnicího tlaku.....	40
5	Vyhodnocení výsledků	42
5.1	Ekonomické hledisko	44
5.2	Prodloužení životnosti.....	46
6	Závěr	46
	Literatura.....	47

Seznam použitého označení a zkratek

CNC	Computer Numerical Control
Comprex	Compresion and expansion
HFM	HeissFilm-LuftmassenMesser
HLM	Hitzdrath-LuftmassenMesser
NTC	Negativ Temperatuje Coefficient
ŘJ	Řídící jednotka
TDI	Turbo Diesel Injection
VGT	Variable Geometry Turbocharger
WG	WasteGate

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá tematikou přeplňování spalovacích motorů. Cílem práce je přiblížit obecnou problematiku přeplňování, poruchovost a diagnostiku tohoto problému. Hlavním cílem je ale posouzení a zhodnocení ekonomické výhodnosti jednotlivých typů oprav a následné dedukce nejlepší možné varianty řešení.

Práce je rozdělena do několika částí. V první části je shrnuta historie turbodmychadel. Začátky a postupné prosazování se v automobilovém průmyslu.

Druhá část je věnována již konkrétně přeplňování. Jsou zde podrobně rozvedeny jednotlivé způsoby přeplňování, princip činnosti a konstrukce turbodmychadla. Součástí kapitoly je také problematika regulace přeplňování. Jednotlivé možnosti způsobů regulace a jejich funkce.

Třetí část práce je spíše praktického charakteru. Úvodem jsou shrnuty různé druhy možných poruch turbodmychadel a jejich důsledky. Dále je zde rozebrána konkrétní porucha regulace plnicího tlaku turbodmychadla. Řeší, čím může být tato porucha způsobena a jaké jsou možnosti její opravy.

V poslední části práce je hlavním tématem vyhodnocení ekonomického stanoviska možných oprav. Cenové porovnání a obtížnost jednotlivých řešení. Obsahuje dedukci nejvýhodnějšího způsobu řešení takto vzniklé situace.

2 Historie turbodmychadel

Historie turbodmychadel se může se svým stářím srovnávat s historií spalovacího motoru. Gottlieb Daimler a Rudolf Diesel zvětšovali výkon motoru při zmenšení spotřeby paliva motoru již na přelomu 19. a 20. století. Pokoušeli se stlačovat vzduch nasávaný do motoru.

První turbodmychadlo sestrojil švýcarský konstruktér dr. Alfred J. Buchi v letech 1909 - 1912. Bylo poháněno výfukovými plyny z motoru.

Rozvoj přeplňování velkých motorů (lokomotivních a lodních průmyslových motorů) sahá především do třicátých let minulého století. Přeplňování turbodmychadlem se před druhou světovou válkou dostalo do leteckých motorů. Důsledkem toho byl vznik nových materiálů a konstrukcí, které umožňují vývoj turbodmychadel v dieselových motorech.

V roce 1954 začínají Cummins, Scania a Volvo výrobu nákladních automobilů, jejichž motory jsou vybaveny plnicími turbodmychadly. Prvními osobními automobily s přeplňovanými motory se stali Chevrolet Corvair Monza a Oldsmobile Jetfire v roce 1964. I přes jejich revoluční konstrukci byly díky nespolehlivosti rychle staženy z trhu.

V 70. letech zajistily turbodmychadlům popularitu závody formule 1. Přední automobilky, které chtěly získat větší uznání, nabízely alespoň jeden vrcholový model s přeplňovaným motorem. K průkopníkům turbodmychadel mezi automobily patřilo Porsche 911 Turbo. To bylo na trhu již v roce 1975. V roce 1976 přivedl tento způsob přeplňování Saab do čtyřválcových motorů běžných vozů.

Na přelomu 70. a 80. let byly přeplňované motory konstruovány na zvýšení výkonu. Nevýhodou, ale byla vyšší spotřeba. Velký průlom přišel v 80. letech, když se na trhu objevil první Mercedes s přeplňovaným vznětovým motorem. Šlo o model 300 SD z roku 1978. O rok později přišel na řadu Volkswagen Golf s přeplňovaným dieselovým motorem.

V této době se toto řešení prosadilo tedy i u osobních automobilů a je používáno dodnes. Dnes je díky turbodmychadlům dosahováno velkých výkonů motorů, došlo k omezení spotřeby paliva a k omezení emisí škodlivých látek do ovzduší.

V dnešní době se konstrukce motorů a přeplňování ubírá především směrem tzv. „downsizingu“. Hlavní myšlenkou downsizingu je zmenšování objemu motoru při zachování stejného výkonu.

3 Přeplňování

Tato kapitola se zabývá jednotlivými typy přeplňování [1]. Je zde rozebrán princip a konstrukce turbodmychadel, druhy regulací plnicího tlaku a jejich funkce.

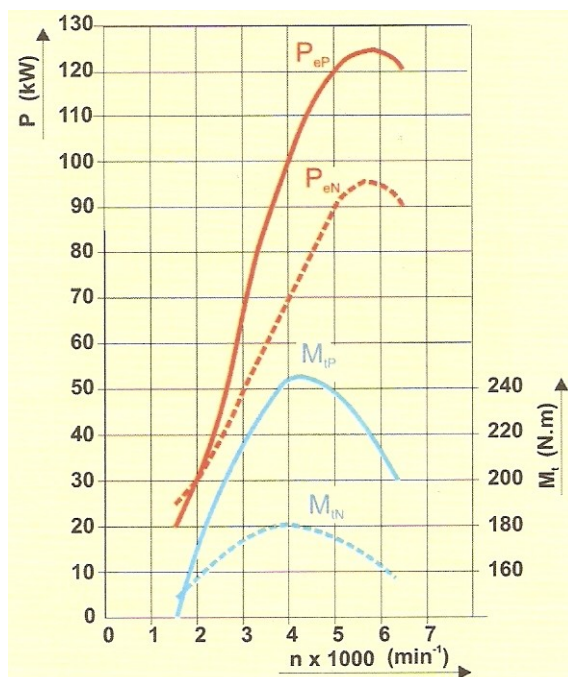
3.1 Přeplňování spalovacích motorů

Výkon spalovacího motoru je závislý na množství paliva a vzduchu, které je do motoru přiváděno. Výkon je možno zvýšit zvětšením zdvihového objemu motoru nebo zvýšením jeho otáček. Tyto možnosti ale vedou ke zvětšení rozměrů motoru, zvýšení jeho hmotnosti a velkým technickým nákladům. Elegantním technickým řešením je zlepšení plnění válců pomocí přeplňování.

Účelem přeplňování spalovacích motorů je dopravit do válců více vzduchu pod tlakem vyšším než je atmosférický. Toto umožňuje vyšší dodávku paliva.

Takto přeplňované motory mají vyšší výkon při nižší spotřebě paliva a zároveň vykazují nižší podíl škodlivých látek ve výfukových plynech.

Přeplňované motory mají oproti atmosférickým nejen vyšší výkon, ale i kroutící moment (obr. 1).



Obr. 1 Vnější rychlostní charakteristika přeplňovaného a nepřeplňovaného zážehového motoru

Efektivní výkon pístového spalovacího motoru udává vztah

$$P_e = i V_H p_e \frac{n}{\tau} \quad (1)$$

ipočet válců spalovacího motoru

V_H ...zdvihový objem jednoho válce

p_estřední efektivní tlak na píst

notáčky motoru

τotáčkový činitel.

Z tohoto vztahu vyplývá, že díky zvýšení středního tlaku na píst, je možno dosáhnout vyššího efektivního výkonu. Potřebná energie je získána ze spálení většího množství paliva.

Střední efektivní tlak na píst vyjadřuje vztah

$$p_e = \frac{H_u}{\sigma_t \lambda_Z} \rho_{pl} \eta_{pl} \eta_i \eta_m \quad (2)$$

H_u ...dolní výhřevnost použitého paliva

λ_Zspalovací součinitel přebytku vzduchu

σ_t ...teoretický směšovací poměr vzduchu a paliva

ρ_{pl} ...hustota plnicího vzduchu

η_{pl} ...plnicí účinnost motoru

η_i ...indikovaná účinnost motoru

η_m ...mechanická účinnost motoru.

Plnicí účinnost přeplňovaného motoru je dána vztahem

$$\eta_{pl} = \frac{m_z}{V_H \rho_{pl}} = \frac{V_z T_{pl} p_{1z}}{V_H T_{1z} p_{pl}} \quad (3)$$

m_z ...hmotnost čerstvé náplně válce

p_{pl} ...tlak plnicího vzduchu

p_{1z} ...tlak na konci plnění.

Hmotnost čerstvé náplně vychází ze vztahu

$$m_z = (V_c + V_H) \rho_{1z} = V_H \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{p_{1z}}{r T_{1z}} \quad (4)$$

V_c ...objem spalovacího motoru

ε ...kompresní poměr motoru

ρ_{1z} ...hustota čerstvé náplně na konci plnicího zdvihu

r ...měrná plynová konstanta vzduchu.

Lze říci, že se plnicí účinnost mění poměrně málo v závislosti na plnicím tlaku. Stejně tak je malá i závislost na teplotě plnicího vzduchu.

Střední efektivní tlak nepřímo ovlivňuje součinitel přebytku vzduchu. U přeplňovaných motorů je uvažováno s proplachem spalovacího prostoru při překřížení ventilů. Proto je nutné rozdělit celkový součinitel přebytku vzduchu na spalovací součinitel a proplachovací součinitel přebytku vzduchu. Platí vztah

$$\lambda = \lambda_z + \lambda_{pr} \quad (5)$$

Z požadovaného středního efektivního tlaku na píst vychází potřebná hustota plnicího vzduchu (6).

$$\rho_{pl} = \frac{p_e \sigma_t \lambda_{zt}}{H_u \eta_{pl} \eta_i \eta_m} \quad (6)$$

3.1.1 Mechanické přeplňování

U tohoto typu přeplňování je dmychadlo poháněno přímo spalovacím motorem, přičemž příkon dmychadla snižuje mechanickou účinnost motoru. Existují různé druhy mechanických dmychadel. Rootsovo dmychadlo, křídlové dmychadlo, dmychadlo s otočnými písty a šroubové dmychadlo.

Dalším typem mechanického dmychadla je spirálové dmychadlo, tzv. G-dmychadlo. Na pístu čerpadla jsou spirálovitá žebra. Tento píst se otáčí v komoře, která má spirálovitý tvar. Kruhovú dráhu pohybu je vyvolána dvojitou klikovou hřídelí.

Přeplňování tímto typem mechanického dmychadla má oproti ostatním určité výhody. Dochází k rychlé změně plnicího tlaku a je zajištěna vyšší úroveň plnění od nízkých otáček. Rotory nejsou ofukovány zplodinami, tudíž nedochází k tepelnému a erozivnímu poškození lopatek. Celkově má toto dmychadlo nižší hmotnost.

Nevýhodou jsou velmi vysoké náklady a náročnost výroby.

U mechanicky poháněných dmychadel lze plnicí tlak řídit obtokem. Obtokový ventil ovládá řídicí jednotka motoru. Vyšší točivý moment a lepší odezvy v dynamickém provozu vyplývají z přímého svázání dmychadla a klikové hřídele.

3.1.2 Přeplňování zážehových motorů turbodmychadlem

Tento typ přeplňování umožňuje u motorů s malým objemem dosáhnout vysokých krouticích momentů a výkonů s dobrou účinností motoru. Takto přeplňovaný motor je oproti atmosféricky plněným motorem stejného výkonu, stavebně menší díky čemuž má vyšší výkonovou hmotnost. Turbodmychadlo se skládá z kompresoru a výfukové turbíny. Oběžná kola těchto částí jsou umístěna na společné hřídeli.

Funkcí turbíny je převádět část energie výfukových plynů na rotační energii a pohánět kompresor. Těleso turbíny je přizpůsobeno malému hmotnostnímu proudu výfukových plynů. Aby se nestalo, že by došlo k přílišnému zvýšení plnicího tlaku, je část plynů odvedena obtokovým ventilem do výfukového systému.

U pneumaticko-mechanické regulace je akční člen turbodmychadla ovládán přímo plnicím tlakem z výstupu kompresoru. Při plném zatížení nemohou být tolerance plnicího tlaku vyregulovány. Při zatížení částečném zhoršuje účinnost zavřený obtokový ventil.

Tyto nevýhody odstraňuje elektronická regulace plnicího tlaku, která je řízena řídicí jednotkou.

U přeplňovaného motoru nesmí být překročena prahová hodnota teploty výfukových plynů mezi motorem a turbínou. Kvůli tomu se regulace plnicího tlaku kombinuje s regulací klepání.

Výhodou tohoto systému je nižší spotřeba práce pro naplnění válce při nižším zatížení. Dále potom nižší protitlak výfukových plynů, nižší podíl zůstatku výfukových

plynů ve válci, nižší teplota stlačeného vzduchu, libovolně programovatelná charakteristika maximálního plnicího tlaku na otáčkách, měkčí náběh turbodmychadla a lepší jízdní vlastnosti.

Při klepání je prováděno zmenšení předstihu v klepajícím válci. Dojde ke snížení plnicího tlaku, pokud hodnota předstihu jednoho válce nedosáhne mezních hodnot. Tato hodnota je uložena v řídicí jednotce a odpovídá maximální dovolené teplotě výfukových plynů na vstupu turbíny.

3.1.3 Přepřínování vznětových motorů turbodmychadlem

K přepřínování těchto motorů se používají turbodmychadla, která jsou poháněna energií výfukových plynů. Otáčky těchto turbodmychadel dosahují rozsahu 20 000 – 300 000 min⁻¹. Tímto lze zvýšit výkon motoru v rozsahu 20 – 90 %, při mírném zvýšení spotřeby.

Přepřínování může být [8]:

- nízkotlaké s přetlakem (0,029 – 0,049 MPa)
- středotlaké s přetlakem (0,049 – 0,078 MPa)
- vysokotlaké s přetlakem (nad 0,078 MPa).

Skutečná práce a spotřebovaná práce turbodmychadla jsou vždy v rovnováze.

Turbodmychadlo se skládá ze dvou proudových strojů – turbíny a kompresoru. Mezi turbodmychadlo a motor je obvykle umístěn chladič stlačeného vzduchu.

Plnicí tlak klesá s poklesem otáček. Tímto vzniká prodleva před záběrem. Tento efekt lze odstranit konstrukčně či jej snížit přímou regulací pomocí natáčení lopatek nebo pohyblivou stěnou vstupní skříně vzduchu.

U tohoto typu řešení je turbodmychadlo uzpůsobováno tak, aby byl při nízkých otáčkách tlak zvyšován a regulace bránila překročení stanovené hodnoty tlaku vzduchu. Dojde k zamezení překročení dovolených tlaků ve válci motoru. Regulaci řídí obtokový ventil, který se otevírá pomocí membrány s pružinou. Ventil je zabudován v tělese a jeho otevírání je závislé na tlaku.

U variabilního turbodmychadla je plnicí tlak řízen přestavováním rozváděcích lopatek turbíny.

3.1.4 Kompoundní přeplňování

Při spalování nafty je přibližně 44 % vyvinuté energie využito k pohonu motorového vozidla a zbylých 56 % jsou ztráty.

Turbocompounding znamená předávání zbytkové energie výfukových plynů za turbodmychadlem k jejímu dalšímu využití. Tato energie je získávána pomocí druhé výfukové turbíny. Otáčky této turbíny jsou přes pružný převod vedeny na klikový hřídel. Tímto se zvyšuje účinnost motoru.

Druhá turbína je stejného typu jako v turbodmychadle a je umístěna za turbodmychadlem ve výfukovém potrubí.

Výkonová turbína rotuje otáčkami přibližně $50\,000\text{ min}^{-1}$. Výkon je převáděn pomocí převodu výkonové turbíny do hydrodynamické spojky. Poté je výkon přenášen na setrvačnik motoru a do převodovky.

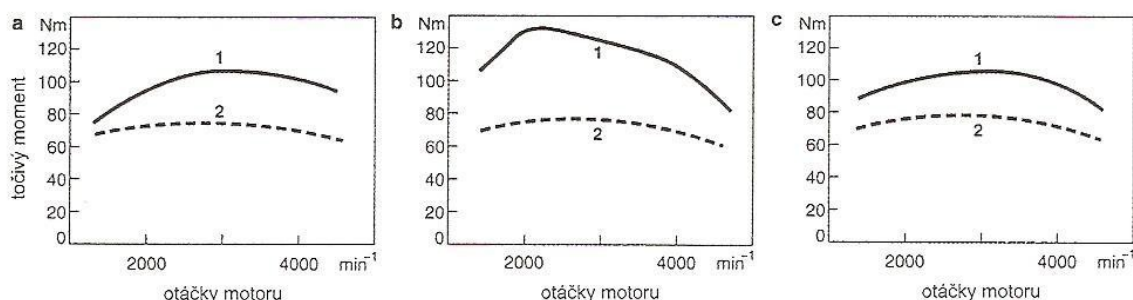
Výhodou turbocompoundingu je vyšší výkon a točivý moment, nižší spotřeba paliva.

3.1.5 Přeplňování tlakovými vlnami

Dalším způsobem přeplňování je pomocí tlakového výměníku. V něm se energie výfukových plynů předává přímo plnicímu vzduchu. Zařízení, využívající tlakovou energii těchto výfukových plynů, se nazývá Comprex. Probíhá v něm jak komprese, tak expanze.

Rotor systému Comprex pohání ozubený řemen od klikového hřídele motoru. Výfukové plyny přivádí do rotoru potrubí. Ty poté procházejí jeho komorami. V těchto komorách stlačují vzduch a vytlačují jej do plnicího potrubí. Než výfukové plyny dojdou na druhou stranu rotoru, tak se samotný rotor otočí, plyny se tím odrazí od stěny skříně a běží komorami zpět. Při tomto pohybu nasávají čerstvý vzduch do komor, které se mezitím opět otočily, a vystupují do výfukového kanálu. Zde expandují na atmosférický tlak. Rotor se takto otočí o 180° a celý cyklus se opakuje.

Porovnání jednotlivých metod přeplňování je zobrazeno na grafu (obr. 2), přičemž křivka číslo 1 symbolizuje přeplňovaný motor a křivka 2 motor atmosférický [3].



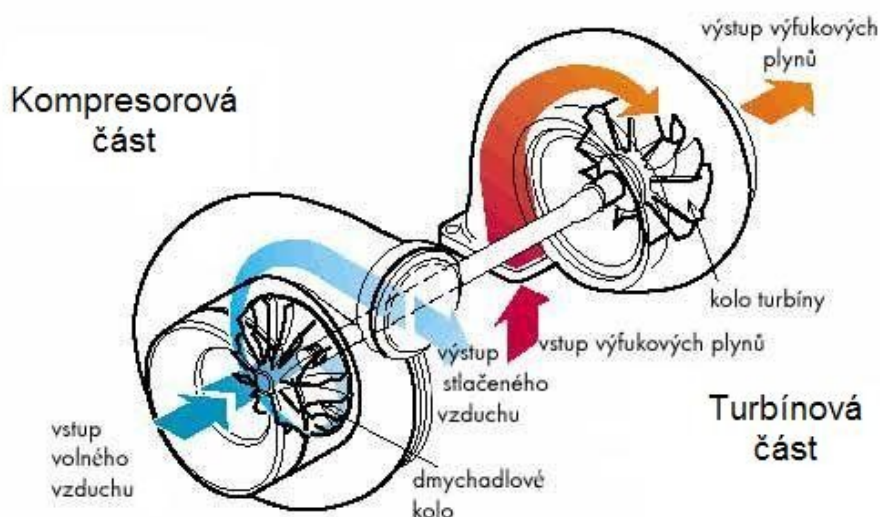
Obr. 2 Porovnání různých metod přeplňování s nepřeplňovaným motorem: a - turbodmychadlo, b - přeplňování tlakovými vlnami, c - mechanické dmychadlo

3.2 Princip činnosti turbodmychadla

Kompresor stlačuje vzduch (zvyšuje tlak) přicházející z nízkotlaké části sacího potrubí přes vzduchový filtr. Tento vzduch dále putuje do vysokotlaké části sacího potrubí, kde prochází chladičem stlačeného vzduchu (tzv. intercoolerem). V intercooleru dochází ke zchlazení tlakového vzduchu, což má za následek zvýšení hustoty plnicího tlaku a omezení vzniku detonačního spalování. Dále stlačený plnicí vzduch putuje do pístového spalovacího motoru.

Turbína je spojena s kompresorem mechanicky, pomocí hřídele. Výfukové plyny, které vystupují z pístového spalovacího motoru, jsou přiváděny na turbínu, čímž ji roztáčí. Počet otáček turbíny je regulován např. pomocí natočení rozváděcích lopatek nebo pomocí obtokového kanálu. Výfukové plyny jsou pak odváděny do výfukového potrubí.

Jelikož jsou turbína a kompresor mechanicky spojeni, jsou jejich otáčky totožné.



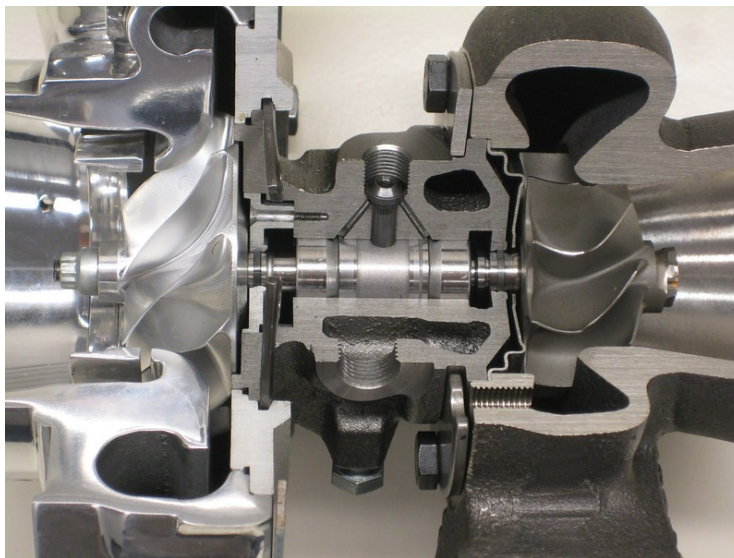
Obr. 3 Princip funkce turbodmychadla

3.3 Jednotlivé části a konstrukce turbodmychadla

Konstrukce turbodmychadla se i přes neustálý vývoj jak technologií, tak materiálů principiálně nemění. Za posledních pár let došlo ke zvýšení efektivnosti turbodmychadla pouze o 15%. Toto zvýšení bylo dosaženo zlepšením aerodynamického tvaru. Dále má na tomto zvýšení efektivnosti podíl elektronická regulace plnicího tlaku, kdy je do motoru dodáván plnicí tlak o přesném požadavku řídicí jednotky.

Jelikož turbínová část turbodmychadla dosahuje teplot od 600 °C do 1050 °C, musí být turbodmychadlo vyrobeno ze speciálních slitin, které jsou schopny odolat takto vysokému namáhání.

Turbodmychadlo je složeno ze tří hlavních částí. První částí je turbína, která je roztáčena pomocí výfukových plynů, a skříň turbíny. Druhou část tvoří kompresor, který je poháněn pomocí turbíny. Ta je uložena v kompresorové skříni. Třetí částí je střední díl, který obsahuje ložiska a hřídel. Tato hřídel, uložená na dvojici kluzných ložisek, které jsou zabudovány v centrálním ložiskovém tělese vyrobeném ze slitiny niklu, spojuje první a druhou část.



Obr. 4 Rez turbodmychadlem

- **Kompresor**

Kompresor je vyroben z hliníkové slitiny, která má kruhový tvar s radiálními lopatkami vyčnívajícími z boku. Platí zde pravidlo, čím více vzduchu má být stlačováno, tím větší kolo musí být. Vzduch je nasáván z axiálního směru vysokými otáčkami a pomocí tvaru lopatek kompresoru je odváděn radiálně do vysokotlaké části sání. Standardně bývá kompresor osazen dvanácti lopatkami. Kompresor je namáhán tepelně a při vysokých tlacích i deformačně. Při běžném použití jako jsou osobní automobily a nákladní automobily se používají především slitiny hliníku (Al). U závodních vozů a vysokotlakých aplikací je nutno použít odolnější materiál titan (Ti). Výroba kompresorových kol je poměrně choulostivá na přesný tvar. Kompresorové kola jsou v dnešní době vyráběna především frézováním CNC strojů a tlakovým odléváním. Kompresor je na hřídel utahován speciální maticí.



Obr. 5 Kompresor

- **Turbína**

Turbína patří mezi nejvíce namáhané části turbodmychadla, působí na ni vlivy jako vysoká teplota, chemické namáhání a mechanické zatížení. Je nutné použít materiály, které jsou schopny odolat tomuto velkému zatížení. Používají se především slitiny a prvky nikl (Ni), chrom (Cr), hliník (Al), titan (Ti), molybden (Mo), vanad (V), ale i další. Opět zde platí pravidlo jako u kompresoru, čím větší turbína, tím vyšší výkon turbodmychadla. Bohužel při výrazném zvětšování turbíny se zvyšuje odpor proti roztočení (setrvačnost) a tím dochází k tzv. „turboefektu“, neboli prodlevě. Výfukové plyny jsou na turbínu přiváděny z radiálního směru a proudí přes lopatky. Plyny pak vystupují axiálně přímo do výfukového potrubí automobilu. Výroba turbíny je poněkud složitější. Odlévá se ve vakuu do keramických forem. Turbínu na hřídel upevňujeme mechanickým svařováním, pomocí tlaku a vysokých otáček.



Obr. 6 Turbína

- **Ložiska**

Radiální ložiska zabraňují pohybu hřídele ve směru kolmém na její osu. Hřídel (rotor), na které je umístěna turbína a kompresor, je uložena na kluzných ložiscích (obr. 7) ve středovém dílu turbodmychadla. Rotor se otáčí bez tření na olejové vrstvě pouzder ložisek. Hřídel dosahuje velmi vysokých otáček, a proto musí být ložiska z kvalitního materiálu. Kluzné ložiska jsou vyráběny především z bronzu. Dnešním trendem je rozšiřování použití valivých kuličkových ložisek. Při použití těchto ložisek dochází k rychlejšímu roztočení (o 14 %), což zkracuje prodlevu. Valivá ložiska se používají u výkonnějších vozů.

Axiální ložiska slouží k zachycení pohybu ve směru osy rotoru.



Obr. 7 Kluzná ložiska

- **Střední díl**

Někdy nazýván jako ložisková skříň. Hlavním úkolem je uložit hřídel kompresoru a turbíny. Druhotným úkolem je intenzivní mazání olejem. V centru skříně jsou ložiska, které tuto hřídel nesou. Olej je přiváděn do centra skříně pod tlakem 400 kPa (4 bar), aby se hřídel nepoškodila a zabránilo se tak jejímu opotřebení. Vyrábí se jako odlitek s následným obrobením. U některých druhů turbodmychadel může být středový díl chlazený kapalinou.



Obr. 8 Střední díl turbodmychadla

- **Skříň kompresoru**

Skříň kompresoru je vyrobena ze slitin hliníku (Al). Výroba se provádí pomocí tlakového lití a obrábění. Konstrukce a tvar se soustředí především na proudění vzduchu od kompresoru. Při nízkém plnicím tlaku používáme skříně větší, u tlaků vysokých pak skříně menších rozměrů.



Obr. 9 Kompresorová skříň

- **Skříň turbíny**

Skříň turbíny je vyrobena ze slitin niklu (Ni). Výroba se provádí odléváním. Konstrukce a tvar je vytvořen tak, aby spaliny co nejefektivněji roztáčely turbínu.



Obr. 10 Turbínová skříň

- **Mazání turbodmychadla**

Turbodmychadlo je mazáno motorovým olejem při tlaku 400 kPa (4 bar). Tento olej je přiváděn z mazacího okruhu motoru. Potrubí, kterým je přiváděn vede do středního dílu turbodmychadla z vrchní strany a jeho průměr je malých rozměrů. Průměr potrubí

odvádějící olej je větší z důvodu nižšího tlaku. Průtok oleje přes ložiska by měl být vždy svisle, shora dolů. Olej z turbodmychadla se vrací do klikové skříně nad úroveň hladiny motorového oleje.

- **Těsnění**

Střední díl turbodmychadla je utěsněn před únikem oleje a chráněn proti vniknutí výfukových plynů, které procházejí přes turbínové kolo. Únik oleje je zajištěn pomocí těsnících kroužků nacházejících se jak na kompresorové tak turbínové části. O odvod přicházejícího oleje na správné místo se stará odrážecí plech. Kryt turbíny chrání střední díl proti vniku výfukových plynů.



Obr. 11 Těsnící kroužky

3.4 Druhy regulace přeplňování

Regulované přeplňování [4] je hlavní nástroj pro zvýšení momentové a otáčkové pružnosti zážehových a vznětových motorů. Touto regulací turbíny turbodmychadla lze dosáhnout již při nízkých otáčkách maxima točivého momentu. To výrazně zvýší schopnost akcelerace motoru. Zde jsou hlavními omezujícími faktory spalovací tlaky a teploty, teploty spalin před turbínou a detonační spalování u zážehových motorů.

V tomto případě lze turbodmychadlo regulovat:

- Odpouštěním výfukových plynů před turbínou (WG)
- Změnou geometrie turbíny
 - Natáčením lopatek statoru turbíny (VGT)
 - Změnou šířky statoru turbíny
 - Řídící směrovou klapkou v bezlopatkovém statoru turbíny

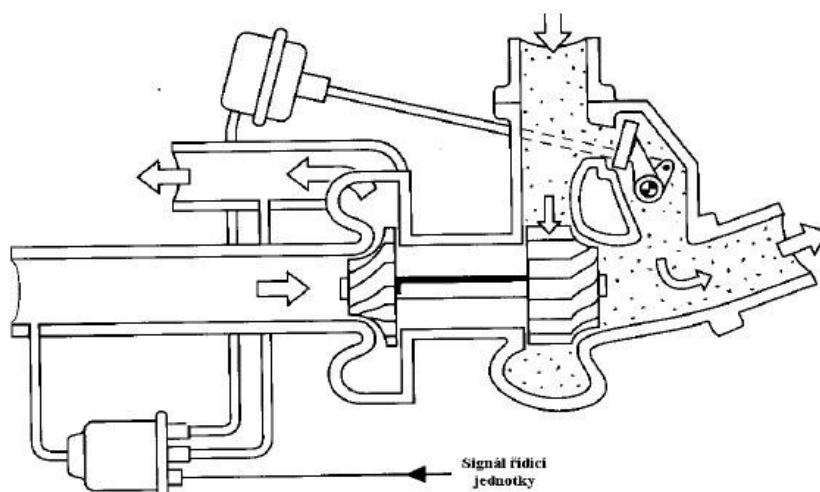
3.4.1 Regulace odpouštěním výfukových plynů před turbínou

Kompresor u tohoto druhu regulace dává maximální stlačení plnicího vzduchu již při nízkých otáčkách. Aby nedošlo k překročení maxima při zvyšujících se otáčkách je zapotřebí odvádět část výfukových plynů mimo turbínu.

K tomu slouží klapka otevírající kanál mezi vstupem a výstupem turbínové skříně. Tato klapka je ovládána akčním členem, který se skládá z pružiny a membrány. Na tuto membránu je přiveden tlak z kompresorové skříně.

Jakmile se síla, která působí na membránu, stane větší než síla pružiny, která působí proti, pootevře se spojovací kanál a část výfukových plynů proudí přímo do výfukového potrubí. Dojde ke snížení otáček turbíny.

V současnosti se využívá přesnější elektronicky řízené otevírání klapky, využívající data z řídicí jednotky motoru.



Obr. 12 Schéma regulace odpouštěním výfukových plynů

3.4.2 Regulace natáčením rozváděcích lopatek turbíny

Toto je způsob regulace plnicího tlaku, kdy je stále stejný průtok spalin protékající turbínou dán hltností motoru a hmotnostní spotřebou paliva. Turbína je navrhována na maximální průtok a optimální geometrie, které odpovídají přibližně středu oblasti, jež je redukována. Toto udává poměr průtočných ploch statoru a rotoru při optimálním nastavení rozváděcích lopatek.

Takovýmto způsobem regulace lze měnit pouze výstupní plocha ze statoru a tím i úhel a velikost absolutní rychlosti proudu, který do rotoru vstupuje. Průtočná plocha rotoru zůstává nezměněná. Tímto dochází ke změně poměru průtočných ploch rotoru a statoru.

Je využíváno zákona kontinuity. Ten říká, že konstantní objem plynu proudí potrubím tím rychleji, čím menší průřez dané potrubí má.

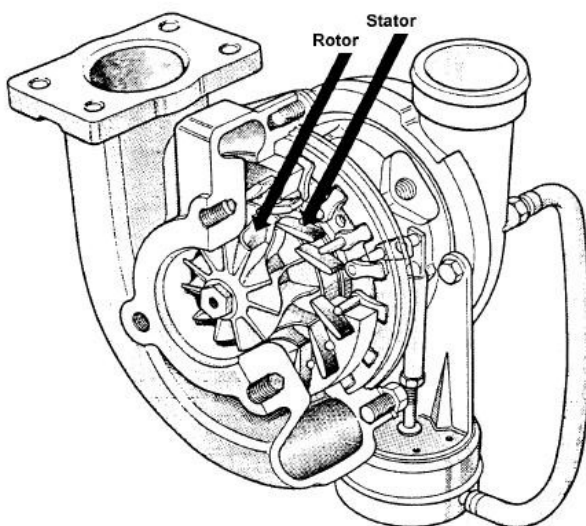
Jelikož je při nízkých otáčkách motoru vyžadován vysoký plnicí tlak, je potřeba nastavitelnými lopatkami průřez, kterým proudí výfukové plyny, zmenšit. Tím se zvýší tlak před lopatkami a tedy i rychlost plynů v zúženém místě. To způsobí nárůst otáček turbodmychadla a zároveň zvýšení tlaku kompresoru.

Naopak při vysokých otáčkách motoru je zapotřebí plnicí tlak zmenšit. V tomto případě je průřez v místě rozváděcích klapek rozšířen. Turbodmychadlo se bude točit nižšími otáčkami a zmenší se i plnicí tlak.

Ovládání těchto lopatek je řešeno nejrůznějšími elektrickými nebo pneumatickými akčními členy.

Při regulaci tímto způsobem jsou mnohem nižší tlaky a teploty výfukových plynů před turbínou, než při jejich odpouštění.

Tento systém je využíván převážně u vznětových motorů a to z důvodu příliš vysokých teplot výfukových plynů zážehových motorů.



Obr. 13 Schéma regulace natáčením rozváděcích lopatek

3.4.3 Regulace plnicího tlaku změnou šířky statoru turbíny

Změnu šířky rozváděcího kola turbíny začala roku 1998 využívat anglická firma Holset. Je to zdánlivě nejjednodušší způsob jak provést změnu geometrie turbíny. Jeho obtížnost ale plyne z jeho principu. Toto rozváděcí kolo s lopatkami je nutné rovnoměrně a axiálně posouvat v turbínové skříni při teplotách dosahujících až 800°C. Při tomto procesu jsou lopatky zasouvány do prstence v druhé stěně. Na této stěně se nachází otvory s profilem zasouváných lopatek.

Pro ovládání se používá pístové jednotky, která je ovládána tlakem od brzdného systému automobilu. Na zjištění hodnoty regulovaného plnicího tlaku je využito otáček

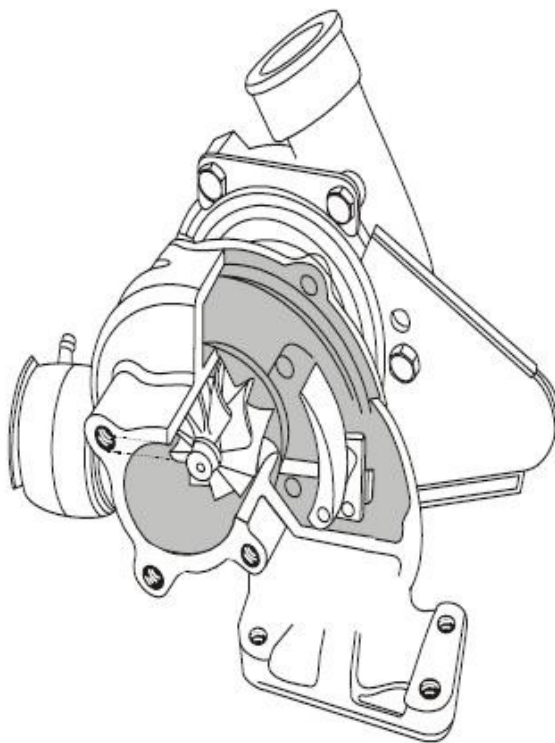
rotoru turbodmychadla. Tyto se snímají v ložiskové skříni uprostřed rotoru bezdotykovým elektromagnetickým snímačem.

Oproti ostatním způsobům regulace je toto řešení z hlediska parametrů originální. Protéká zde celý hmotnostní průtok turbínou při optimálním úhlu náběhu proudu do oběžného kola. Turbína tak má stále vysokou účinnost. Vyšší ztráty jsou způsobeny pouze třecími silami ve statoru a náhlým rozšířením kanálu mezi rotorem turbíny a statorem.

V současnosti se tento způsob využívá pro přepřehování vznětových motorů užitkových vozidel a zážehových motorů osobních automobilů.

3.4.4 Regulace plnicího tlaku řídicí směrovou klapkou

U tohoto typu regulace je jedinou pohyblivou částí směrová klapka. Je uložena v bezlopatkové rozváděcí skříni turbíny. Tato klapka je přestavována pomocí membránové jednotky v elektromagnetickém ventilu regulovaným tlakem. Řešení je teoreticky stejné jako u regulace natáčením lopatek statoru turbíny. Rozdíl je v úhlu absolutní rychlosti na vstupu do rotoru, který se stanoví změnou úhlu nastavení řídicí směrové klapky. Tímto se změní obvodová složka absolutní rychlosti.



Obr. 14 Schéma regulace řídicí směrovou klapkou

3.4.5 Kombinovaná regulace plnicího tlaku

Turbodmychadlo s použitím bezlopatkové rozváděcí skříň vyvinula firma Garrett při snaze snížit tlaky a teploty výfukových plynů před turbínou a dosáhnout maximální akcelerační schopnosti. Rozváděcí skříň má řídicí směrovou klapku. Směrová klapka je doplněna klapkou odpouštěcí, která slouží na úpravu víru v rozváděcí skříni a zároveň i úpravu úhlu náběhu na vstupu do rotoru turbíny. Aby bylo dosaženo minimálního momentu setrvačnosti rotoru turbíny byl snížen průměr oběžného kola turbíny. To způsobuje, že turbínou neprojde celý hmotnostní tok, který produkuje motor. Při otevírání směrové klapky je zvětšována obvodová složka rychlosti v bezlopatkové rozváděcí skříni. Zároveň je odpouštěcí klapkou odváděn přebytečný hmotnostní tok. Touto kombinací je docíleno stejného efektu jako při natáčení rozváděcích lopatek.

3.4.6 Snímače

- **Snímač měření hmotnosti nasávaného vzduchu**

Měřičům hmoty vzduchu [6] s vyhřívaným drátkem (HLM) nebo s vyhřívaným filmem (HFM) se říká termické snímače zatížení. Jejich místo je mezi škrticí klapkou a čističem vzduchu. Vyhodnocují proud hmoty vzduchu.

Oba dva druhy snímačů pracují na stejném principu. Elektricky vyhřívané těleso je umístěno v proudu nasávaného vzduchu, který toto těleso ochlazuje. Do těchto míst (k tělesu) je přiváděn také proud, který ho ohřívá, tak aby se udržela jeho konstantní teplota. Konstantní teplota tělesa je vyšší než teplota nasávaného vzduchu. Měřítkem pro proud vzduchu je proud ohřívající. Zohledněna je také hustota vzduchu, jelikož určitým podílem ovlivňuje tepla, které je odebíráno ohřivanému tělesu.

U měřiče hmotnosti s vyhřívaným drátem je vyhřívaným tělesem 0,07 mm silný platinový drátek. K vyrovnaní teploty nasávaného vzduchu je do tělesa měřiče vložen snímač teploty. Snímač teploty a vyhřívaný drátek pracují jako teplotně závislé odpory a jsou součástí můstku. Měřicí můstek a zesilovač jsou hlavními součástmi elektrického zapojení. Na přesném rezistoru vytváří elektrický ohřívací proud napěťový signál. Tento napěťový signál je úměrný proudu hmoty nasávaného vzduchu a je přiváděn do řídicí jednotky. Drátek se po vypnutí motoru ohřeje na vysokou teplotu (1000°C za 1 s) a tím dojde k odpaření nebo spálení veškerých nečistot a vyčištění drátku. Toto zabraňuje zkreslení naměřených hodnot.

Měřič hmotnosti nasávaného vzduchu obsahuje tělísko s vyhřívaným platinovým filmem. Na tomto filmu je jen tenká vrstva platiny. Tento film je umístěn na keramické destičce spolu s dalšími prvky můstkového zapojení. Základním principem měření je odporový můstek, kde se nachází tři kalibrační rezistory a dva teplotně závislé rezistory.

První teplotně závislý rezistor určuje průtočné množství vzduchu, druhý měří teplotu tohoto vzduchu. Můstek je napájen elektrickým proudem tak, aby byl teplotní rozdíl mezi oběma teplotně závislými rezistory konstantní. Udržení konstantního rozdílu teploty je umožněno díky změně velikosti elektrického proudu. U motorů s menším počtem válců dochází k silným tlakovým pulzacím v sacím traktu. Někdy jsou tak velké, že vzduch v krátkých časových intervalech proudí zpět, tím ochlazuje měřicí rezistor a dojde ke zkreslení naměřených hodnot. Použitím jednoho vyhřívaného rezistoru tento problém odstraní. Na rozdíl od měřiče s vyhřívaným drátkem zde zůstává dlouhodobá přesnost měření zachována i bez zneškodňování nečistot. Tyto nečistoty se zde usazují na přední hraně keramické destičky, tudíž jsou všechny ostatní části chráněny. Zároveň je destička vytvarována tak, aby vzniklé nečistoty neodkláněly proud vzduchu.

- **Snímač teploty nasávaného vzduchu**

Tento snímač převádí teplotu na elektrický signál, který je poté poslán do řídicí jednotky. Snímač tvoří polovodičový NTC rezistor. Se zvyšující se teplotou se elektrický odpor rezistoru snižuje a naopak. Tento snímač je umístěn v tělese měřiče množství vzduchu. Snímač je součástí děliče napětí. Tento dělič napájí stabilizované napětí 5 V.

- **Snímač plnicího tlaku**

Snímač je napojen na plnicí potrubí. Jeho funkcí je určit absolutní tlak v potrubí. Ten se pohybuje v rozsahu 50 – 300 kPa (0,5 – 3 bar). Snímač obsahuje dva měřicí prvky pracující na principu, který se nazývá piezoeфекt. Signál vystupující ze snímače je veden do řídicí jednotky motoru.

- **Snímač atmosférického tlaku**

Tento snímač se nachází v řídicí jednotce motoru, kde se taky provádí samotné měření. Uvnitř snímače je piezokeramický prvek, který za působení síly uvolňuje piezokrystal napětí. Velikost tlaku vzduchu závisí na nadmořské výšce, tzn., že se zvětšující se výškou klesá. Dojde-li ke snížení atmosférického tlaku, tak se plnicí tlak a zpětné vedení výfukových plynů dereguluje. Řídicí jednotka poté vypočítává dle signálu ze snímače plnicí tlak. Při poruše snímače atmosférického tlaku řídicí jednotka vypočítá plnicí tlak dle předem zvolené hodnoty.

3.4.7 Akční členy

Hlavním úkolem akčních členů [5] je ovládání regulace turbodmychadla pomocí signálu přicházejícího od řídicí jednotky.

Přepouštěcí ventil u pneumaticko-mechanické regulace ovládá tlak plnicího vzduchu. Tento ventil mění plnicí tlak skokově. Průběh točivého momentu je v závislosti na otáčkách regulovatelný pouze v malém rozsahu. Uzavřený přepouštěcí ventil zhoršuje účinnost motoru v oblasti, kde se nachází částečné zatížení.

Použitím elektronicky řízené regulace tlaku plnicího vzduchu se tato nevýhoda eliminuje. Dochází ale ke snížení výkonu turbíny, snížení tlaku a teploty plnicího vzduchu a snížení tlakového spádu na škrticí klapce. Tento ventil ovládá membránu v tlakové nádobě.



Obr. 15 Elektromagnetický ventil omezení tlaku plnicího vzduchu

3.5 Chlazení plnicího vzduchu

Při stlačování vzduchu na kompresorové části turbodmychadla dochází k zahřívání vzduchu. Teplota dosahuje až 130 °C. Toto zahřívání má negativní vliv na hustotu vzduchu a plnění motoru.

Pro eliminaci negativního vlivu, používáme chladič stlačeného vzduchu (intercooler). Tento chladič je schopen vzduch zchladit až o 60 °C a to v závislosti na druhu chladiče, chladícího média a velikosti.

Zchlazení má za následek zvýšení hustoty vzduchu, snížení teplotní a tlakové hladiny tepelného oběhu, snížení teploty výfukových plynů.

Jsou dva druhy chlazení chladiče plnicího vzduchu. Nejpoužívanější jsou chladiče vzduchové, u nichž je plnicí tlak ochlazován prouděním okolního vzduchu. Méně používaný typ chlazení je kapalinové. Stlačený vzduch se v tomto případě chladí pomocí kapaliny, která má své vlastní čerpadlo a okruh proudící kapaliny oddělený od okruhu chladící kapaliny motoru.

Chladič stlačeného vzduchu se může nacházet v různých místech motorového prostoru automobilu. Vždy ho najdeme v přední části automobilu. Časté umístění je za chladičem chladicí kapaliny motoru vozu. U sportovních a závodních vozů se chladič stlačeného vzduchu umísťuje před chladič chladicí kapaliny, hned za nárazník. Při tomto umístění dochází k lepšímu chlazení. Používá se také umístění chladiče chladicí kapaliny motoru a chladiče stlačeného vzduchu vedle sebe, ale toto uspořádání má nevýhodu. Dojde ke zmenšení účinnosti obou chladičů. Další umístění pak bývá nad motorem, blíže k čelnímu oknu. Kdy vzduch, který ochlazuje chladič je přiváděn pomocí nasávače v kapotě. Toto umístění je použito především u motoru typu boxer.

Čím vyšší rychlostí se vozidlo pohybuje tím více je chladič stlačeného vzduchu účinnější. Ochlazení stlačeného vzduchu je nejlepším a nejlehčím způsobem jak dosáhnout lepších parametrů motoru.



Obr. 16 Chladič vzduchu

4 Poruchy a diagnostika turbodmychadel

Tato kapitola je věnována poruchám a diagnostice turbodmychadel. Jsou zde uvedeny typy jednotlivých poruch a jak se jim vyvarovat. Konec kapitoly se zabývá konkrétní poruše regulace turbodmychadla.

4.1 Druhy poruch

Spolehlivost turbodmychadel vyráběných v současné době je velmi vysoká. Pouze u 1% turbodmychadel dojde k poruše způsobené výrobní nebo materiální vadou. Zbýlých 99% poruch vzniká nedostatečným mazáním, znečištěním oleje, vniknutím cizího předmětu nebo nadměrným najetím kilometrů.

Funkčnost je omezena provozními podmínkami a včasnou údržbou, tak jako u jiných součástí motorů. U osobních automobilů výrobci uvádějí životnost 150 000 km, pro nákladní automobily je tato hodnota 500 000 km.

4.1.1 Znečištění oleje

Nečistoty, které plavou v oleji ohrožují životnost turbodmychadla a můžou způsobit i destrukci. Způsobují poškození povrchu ložisek (obr. 17) a dochází k zaoblení hran ložisek. To má za následek zmenšování průměru ložisek, při čemž vznikne radiální vůle hřídele a může dojít k poškození vnějších hran kompresoru o skříň kompresoru.

Pokud je olej znečištěn nadměrně, dochází vytvoření rýh jak na ložiscích, tak na hřídeli. K poškrábání dochází již při velikosti mikročástic 20-50 μ m.

Co způsobuje znečištění oleje:

- použití nesprávného druhu oleje
- nekvalitní olejový filtr (neoriginální)
- usazeniny a karbon
- opotřebení motoru (kovové třísky)
- náhodné znečištění oleje při běžné údržbě

Prevence proti znečištění oleje:

- vždy dodržovat intervaly výměn oleje a použitý druh oleje stanovené výrobcem vozidla
- pravidelná kontrola hladiny motorového oleje
- při výměně nebo opravě turbodmychadla vyměnit potrubí přívodu oleje nebo toto potrubí vyčistit



Obr. 17 Poškození ložiska

4.1.2 Vniknutí cizího předmětu

Za podmínek, při kterých turbodmychadla pracují, může i nejmenší objekt způsobit poškození kompresoru (obr. 18) nebo turbíny. Při tomto poškození dochází ke snížení produkovaného tlaku nebo k destrukci. Kompresorové kolo je na sací straně, kde může nasát nečistoty, jako jsou písek, kapky vody nebo také kus nekvalitního vzduchového filtru. Při servisních pracích může dojít ke vniknutí šroubu nebo matice do sacího potrubí. Turbínové kolo bývá poškozeno především částmi ventilového rozvodu nebo vstřikovačem.

Co způsobuje poškození cizím předmětem:

- cizí tělesa, která jsou nasáta kompresorem z důvodu vadného nebo chybějícího filtru vzduchu
- poškozené těsnění mezi hadicemi (dochází k proniknutí nečistot do sání)
- šrouby, matice, podložky nebo hadry, které nebyly odstraněny při provádění údržby
- části kompresorového kola v sacím potrubí z předchozí destrukce turbodmychadla
- poškození pístu, ventilového rozvodu, vstřikovače, zapalovací svíčky a vniknutí do výfukového potrubí

Prevence proti vniknutí cizího tělesa:

- všechny hadice saní musí být těsné, čisté a neporušené
- používat pouze správný typ vzduchového filtru a vyměňovat ho ve lhůtách doporučených výrobcem vozidla



Obr. 18 Destrukce kompresoru

4.1.3 Nedostatečné mazání

Mazání jednotlivých částí turbodmychadla je velmi důležité. Hřídel a ložiska se otáčejí na tenké vrstvě oleje. Olej musí být do středního dílu dodáván po celou dobu běhu motoru a turbodmychadla, pokud tomu tak není, dochází k poškození ložisek a hřídele. Běh turbodmychadla bez oleje po dobu 5 sekund je stejně poškozuující jako běh motoru bez oleje po dobu 5 minut. U většiny vozidel je průtok oleje přes mazací potrubí turbodmychadla 2 litry min^{-1} pod tlakem 400 kPa (4 bar).

Co způsobuje nedostatečnou dávku oleje:

- nedostatečné množství oleje v motoru
- ohnutá nebo zanesená trubka s přívodem oleje
- olejové čerpadlo
- vadný filtr oleje
- použití nesprávného těsnění

Prevence proti selhání mazání:

- kontrola tlaku oleje
- kontrola potrubí přivádějící olej, čistota, těsnost
- výměna oleje a filtru v intervalech stanovených výrobcem automobilu



Obr. 19 Poškození vlivem nedostatečného mazání

4.1.4 Nadměrná rychlost a plnění

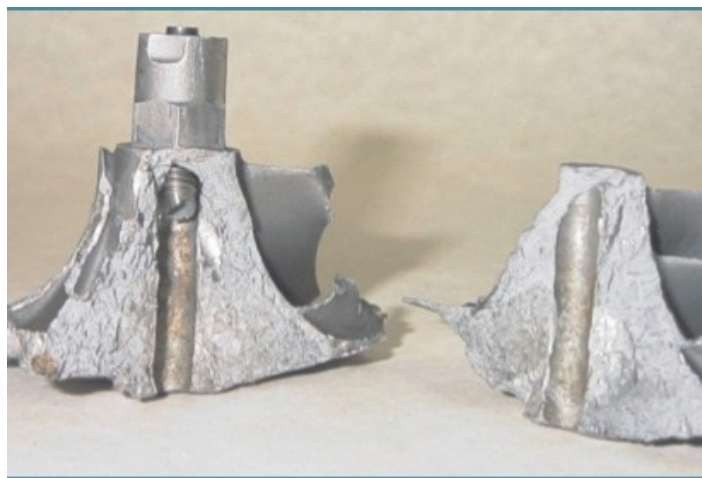
Dosáhne-li turbodmychadlo větších otáček než je provozní limit, dojde k poškození turbíny nebo kompresoru. Pokud tyto vysoké otáčky a tlak přetrvávají dlouhodoběji, může dojít k poškození motoru.

Co způsobuje překročení provozní rychlosti a plnění:

- špatné seřízení regulace plnicího tlaku (VGT, WG)
- opotřebené vstřikovače
- ztráta signálu mezi řídící jednotkou a akčním členem regulace
- netěsnost v sání motoru

Prevence proti přesažení provozní rychlosti:

- kontrola sacího potrubí
- diagnostika akčních členů



Obr. 20 Destrukce kompresoru

4.1.5 Únik oleje

Únik oleje z turbodmychadla ve většině případů není zaviněn poruchou některých částí turbodmychadla, ale prvotní příčina bývá způsobena jiným faktorem.

Přítomnost malého množství oleje v sacím potrubí je normální. Bývá to způsobeno především odvětráním motoru do sacího potrubí.

K úniku oleje dochází taky v případě, kdy čistič vzduchu je vadný nebo natolik znečištěný, že nepropouští dostatečné množství vzduchu. Při této situaci dojde ke vzniku podtlaku, což způsobí vytahování oleje ze středního dílu přes těsnění do kompresorové skříně a následně do potrubí.

Pokud dochází k velkým únikům oleje, je nejspíše poškozeno těsnění velkou radiální vůlí.

Co způsobuje únik oleje na straně kompresoru:

- únik vzduchu ve vysokotlaké části sání
- ucpané sací potrubí
- vadný nebo ucpaný vzduchový filtr

Co způsobuje únik oleje na straně turbíny:

- netěsnost ve výfukovém systému

Co způsobuje únik oleje na straně kompresoru a turbíny:

- velké vůle v ložiscích
- nefunkční odvětrání motorového prostoru
- ucpané nebo špatně průchodné mazací potrubí, které odvádí olej zpět do motoru

Prevence proti úniku oleje:

- kontrola sacího potrubí motoru
- kontrola mazacího traktu
- kontrola výfukového potrubí



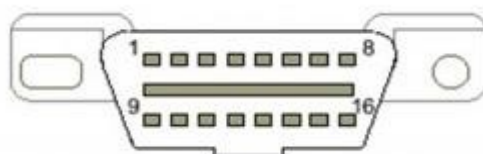
Obr. 21 Únik oleje na kompresorové části

4.2 Diagnostika

Závady lze identifikovat pomocí různých diagnostických postupů [2]. V automobilovém průmyslu se používá nejvíce diagnostika sériová a paralelní.

4.2.1 EOBD

Systém diagnostiky EOBD se snaží docílit snižování produkce škodlivých emisí do ovzduší. Je postupně zaváděn od roku 2000 do motorových vozidel skupin M a N. Tato diagnostika za jízdy vozidla kontroluje všechny součásti a systémy, které mají podíl na tvorbě škodlivých látek. EOBD systém je instalován na palubě vozidla. Připojení k diagnostickému zařízení nebo počítači se provádí přes standardní 16 pinovou zásuvku OBD.



Obr. 22 OBD zásuvka

Pokud dojde k poruše některého systému či součásti, která má vliv na životní prostředí, diagnostika tuto informaci sdělí řidiči na palubní desce automobilu, pomocí varovné kontrolky oranžové barvy. Dojde taky k zapsání příslušného chybového kódu do řídicí jednotky motoru.

EOBD norma kontroluje procesy:

- účinnost katalyzátoru
- výpadky zapalování
- funkce lambda sond
- odvětrání palivové nádrže
- regulace plnicího tlaku vzduchu
- zpětné vedení výfukových plynů

4.2.2 Sériová diagnostika

Pod pojmem sériová diagnostika se v automobilovém průmyslu rozumí schopnost elektronické řídicí jednotky diagnostikovat závady jak na vstupní tak výstupní části. Řídicí

jednotky mají komunikační rozhraní sloužící k připojení diagnostického přístroje nebo počítače.

Pomocí sériové diagnostiky lze provádět:

- měření hodnot snímačů
- testy akčních členů
- vyčítat paměť závad
- kódování řídicí jednotky

U turbodmychadla můžeme pomocí sériové diagnostiky měřit hodnoty snímače teploty nasávaného vzduchu, hmotnosti nasávaného vzduchu, plnicího tlaku a tlaku atmosférického.

4.2.3 Paralelní diagnostika

Tato diagnostika se v automobilovém průmyslu provádí bez použití řídicí jednotky a diagnostického přístroje. Jedná se o měření fyzikálních veličin snímačů. Měření může být prováděno přímo na snímačích, komponentech a svorkovnicích řídicích jednotek.

Pomocí paralelní diagnostiky lze provádět:

- měření napětí pomocí voltmetru
- měření proudu pomocí ampérmetru
- měření odporu snímačů
- měření průběhu napětí/proudu pomocí osciloskopu
- zkouška akčního členu mechanicky elektricky

U turbodmychadla můžeme pomocí paralelní diagnostiky měřit teplotu turbínové a kompresorové části, otáčky rotoru, hlučnost, vibrace.

4.3 Porucha regulace plnicího tlaku a následná oprava

4.3.1 Zjištění závady na vznětovém motoru 1.9 TDI

Prvním příznakem poruchy je zhoršení jízdních vlastností vozidla. Toto zhoršení je způsobeno tzv. padáním do nouzového režimu. To znamená, že řídící jednotka omezí vstřikované množství paliva do motoru a vypne regulaci plnicího tlaku turbodmychadla. Vozidlo poté jede na 30 % svého potenciálu. K padání do nouzového režimu dochází při velké zátěži motoru a to při jízdě do kopce, předjíždění nebo při jízdě na „plný plyn“. V některých případech, především pokud tuto závadu řídící jednotka zapíše vícekrát, se rozsvítí varovná kontrolka na palubní desce automobilu.

Nouzový režim má dva úkoly. Prvním úkolem je chránit motor a jeho příslušenství před poškozením. Druhotným úkolem je, aby vozidlo zůstalo provozuschopné dojet do servisu.

Pokud máme podezření na poruchu turbodmychadla, je nezbytné provést sériovou diagnostiku automobilu. Tato diagnostika se provede za pomoci softwaru VAG-COM a propojovacího OBD kabelu, který slouží pro spojení řídící jednotky automobilu a počítače.

Ukázkové měření je provedeno na vznětovém motoru 1.9 TDI koncernu Volkswagen.

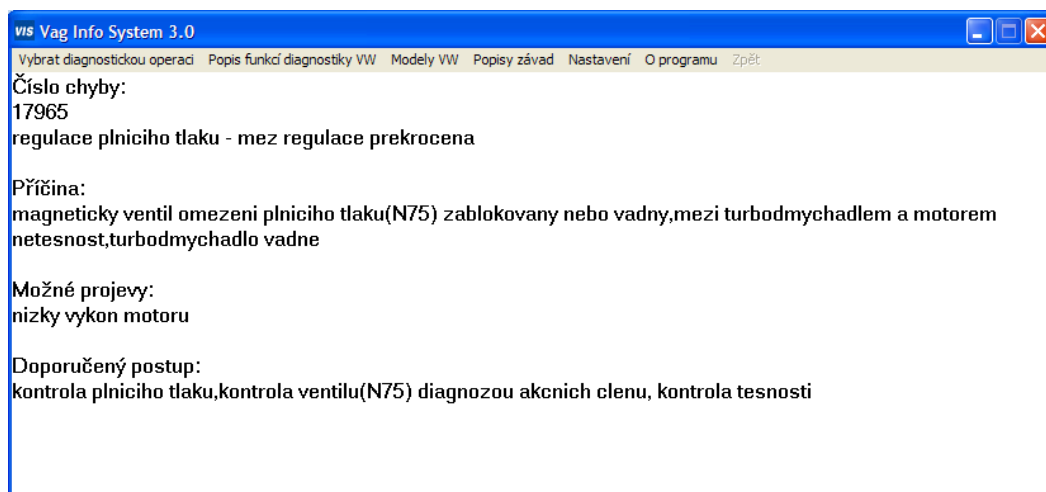
Postup měření:

1. Připojení OBD kabelu do diagnostické zásuvky v automobilu a v počítači
2. Zapnutí software VAG-COM a zapalování vozidla
3. Navázání spojení s řídící jednotkou motoru a vypsání chybových kódů, které ŘJ zaznamenala
4. V paměti závad se vyskytl chybový kód číslo 17965 – regulace plnicího tlaku – regulační mez překročena



Obr. 23 Obrazovka softwaru VAG-COM

5. Pro upřesnění závady je použit software Vag Info Systém



Obr. 24 Obrazovka informačního systému softwaru VAG

Software Vag Info System určil hned možné příčiny závady. Tyto příčiny nemusí být adekvátní, a proto je lepší postupovat doporučeným a obezřetným postupem.

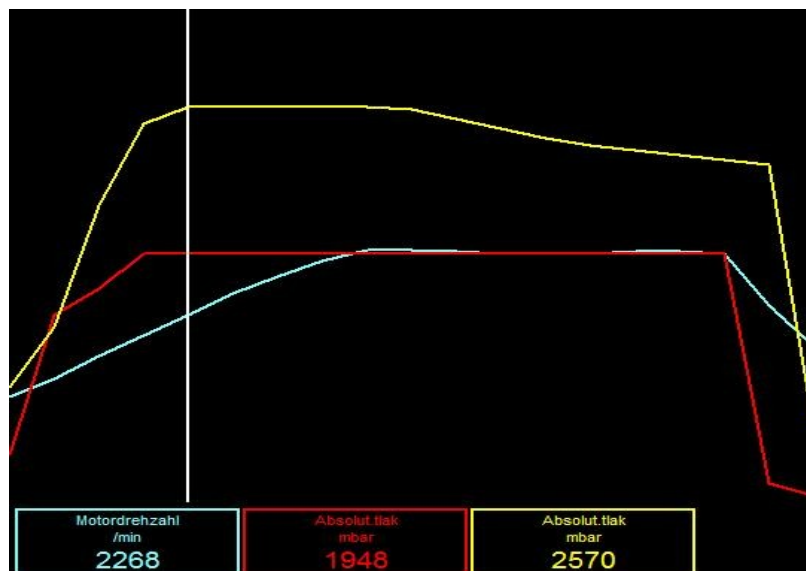
6. Doporučený postup kontroly plnicího tlaku je proveden pomocí softwaru VAG-COM.

Navážeme spojení s řídicí jednotkou motoru, kde v měřených hodnotách zadáme skupinu číslo 11. Tato skupina v řídicí jednotce motoru sleduje čtyři hodnoty. Otáčky motoru, požadovanou hodnotu plnicího tlaku vzduchu, skutečnou hodnotu plnicího tlaku vzduchu a poměr sepnutí elektromagnetického ventilu.

Jelikož přeplňování pracuje především při vyšším zatížení motoru, musíme kontrolu plnicího tlaku provést během jízdy vozidla, kdy diagnostický software zaznamenává hodnoty a řidič se může plně věnovat řízení.

Tato procedura by se měla provádět při zahřátém motoru na provozní teplotu a úseku pozemní komunikace s mírným stoupáním. Zařadíme třetí rychlostní stupeň, sešlápneme plynový pedál a zrychlujeme do maximálních otáček. Výstupem je tabulka a graf, kde jsou znázorněny průběhy tlaků, otáček a čas.

Tlak v grafu a tabulce je uváděn jako absolutní. Pokud chceme znát přesnou hodnotu tlaku, který produkuje turbodmychadlo tak musíme odečíst od absolutního tlaku, tlak atmosférický 101,325 kPa (1013,25 mbar).



Obr. 25 Výstup ze softwaru VAG před opravou turbodmychadla

Na tomto grafu jde vidět vzniklá difference tlaků. V místě, kde svislá čára protíná křivky požadovaného tlaku, skutečného tlaku a otáček jsou jednotlivé hodnoty vypsány v levém rohu dole.

Při otáčkách 2268 min^{-1} dochází k diferenci $62,2 \text{ kPa}$ (622) mbar. Tuto diferenci přepnutí řídicí jednotka toleruje několik sekund a posléze se přepne do nouzového režimu.

V tuto chvíli víme, že do motoru je přiváděn vyšší tlak, než požaduje řídicí jednotka. Proto se zaměříme na regulaci plnicího tlaku.

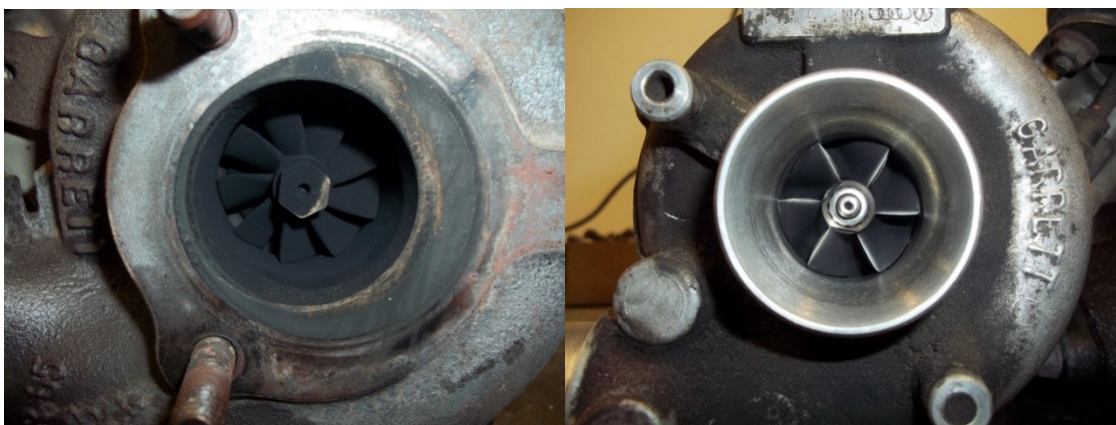
Jelikož porucha regulace plnicího vzduchu je jedna z častých závad u vznětových motorů, zkusíme manuálně zatáhnout za ovládací mechanismus rozváděcích lopatek na turbodmychadlu. Tímto úkonem zjistíme, zda je mechanismus, který otáčí s rozváděcími lopatkami v pohybu. Mechanismus musí fungovat bez většího odporu a známek zadrhávání.

V tomto případě jsme zjistili, že mechanismus je zaseknut, tudíž nefunkční. Bohužel u této závady se musí turbodmychadlo demontovat z vozu.

4.3.2 Kontrola turbodmychadla

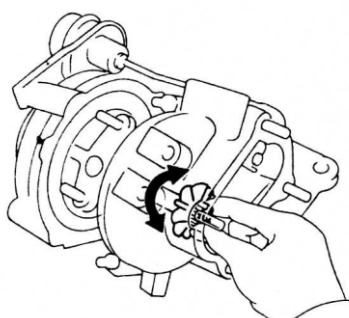
Po demontáži turbodmychadla z vozidla jako první kontrolujeme, zda se nenachází v sacím potrubí vozidla olej. Malé množství nebo mastnota je v pořádku a to z důvodu odvětrání klikové skříně zpět do sání. Pokud nezaznameníme únik oleje, pokračujeme v kontrole samotného turbodmychadla.

Provede se vizuální kontrola turbínového a kompresorového kola. Pokud nejsou poškozeny lopatky těchto kol, můžeme pokračovat kontrolou otáčení rotoru, axiální a radiální vůle.



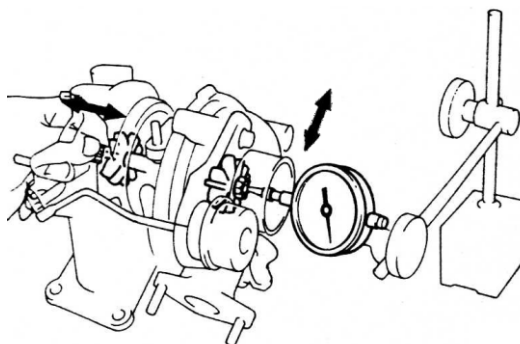
Obr. 26 Vizuální kontrola kol

Kontrola otáčení rotoru (obr. 27) se provádí uchopením kola rotoru a jemným otáčením. Rotor se musí otáčet hladce bez zadrhávání a vydávání kovového zvuku.



Obr. 27 Kontrola otáčení rotoru

Jako další provedeme inspekci axiální a radiální vůle hřídele ložisek. Vložíme úchylkoměr na sací stranu, kdy špičku úchylkoměru vložíme do zahluubení v hřídeli. Vynulujeme úchylkoměr a uchopíme turbínové kolo. Jemným tlakem zatlačíme na hřídel v axiálním směru, pak odečteme naměřené hodnoty z měřicího přístroje. Vůle by měla být v rozmezí 0,07 – 0,15 mm.

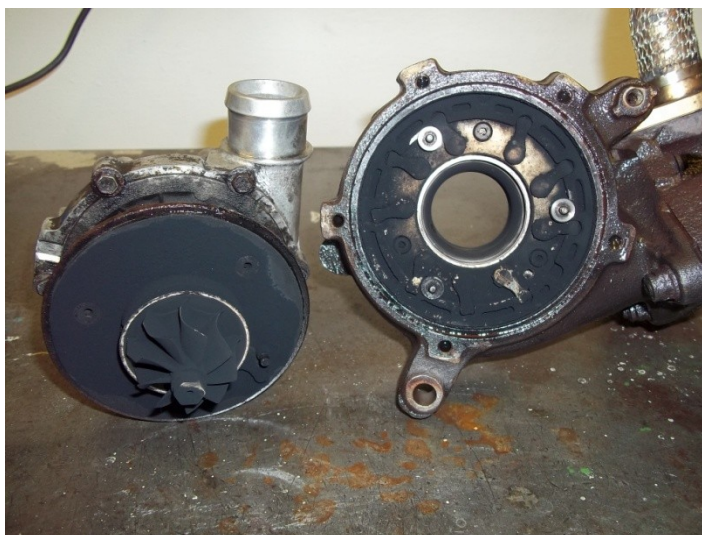


Obr. 28 Kontrola axiální a radiální vůle

Radiální vůle se měří stejným způsobem s tím rozdílem, že tlak na hřídel bude v radiálním směru. Maximální vůle 0,02 – 0,07 mm.

4.3.3 Regulace plnicího tlaku

Po kontrole turbodmychadla demontujeme turbínovou skříň od středového dílu turbodmychadla. Tak abychom se dostali až k rozváděcím lopatkám.



Obr. 29 Usazeniny v regulaci turbodmychadla

Na obr. 29 lze vidět, že na otočném nastavovacím kroužku a věnci s regulačními lopatkami je značný nános karbonu a sazí. Tyto usazeniny způsobují přidírání rozváděcích lopatek, a následnou dysfunkci regulace plnicího tlaku.

Demontujeme věnec s rozváděcími lopatkami z turbínové skříně. Tady se nachází rozváděcí lopatky, které přivádějí výfukové plyny na turbínové kolo. Z obrázku (obr. 30) je patrné přidírání těchto lopatek o skříň turbíny a jejich omezený pohyb.



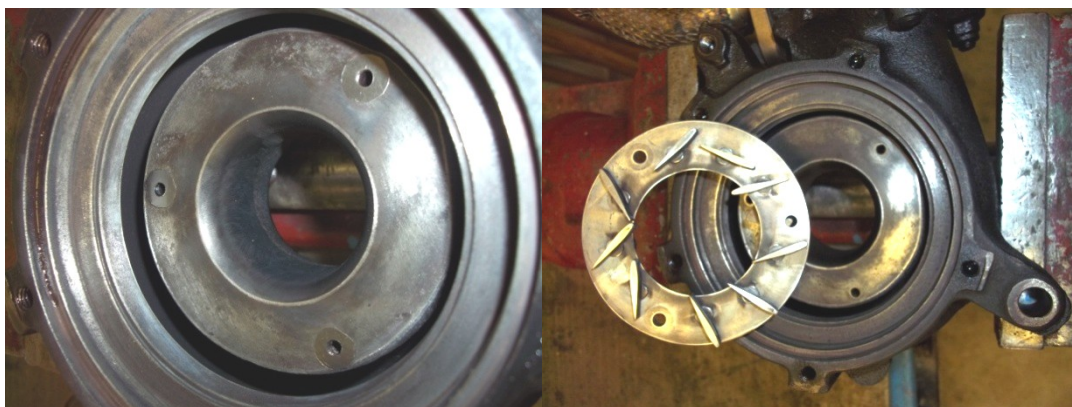
Obr. 30 Přidířené rozváděcí lopatky

Pokud jsme provedli řádnou kontrolu turbodmychadla a není potřeba provádět opravu jiných částí, můžeme tuto situaci řešit následujícím způsobem.

1. Prvotní očištění jemným smirkovým papírem drsnosti P 240
2. Čištění ultrazvukem – hluboké a důkladné odstranění nečistot
3. Úprava dosedacích ploch brusným kamenem

Jelikož u tohoto automobilu docházelo k této poruše opakovaně, nejspíše z důvodů nevhodného jízdního stylu, bylo ze zkušebních důvodů provedeno vypodložení věnce s rozváděcími lopatkami.

Podložku tloušťky 0,1 mm vkládáme mezi skříň turbíny a věnec s rozváděcími lopatkami. Tímto zvětšíme vůli a mělo by dojít k eliminaci brzkého opětovného přídření.



Obr. 31 Místo vypodložení věnce

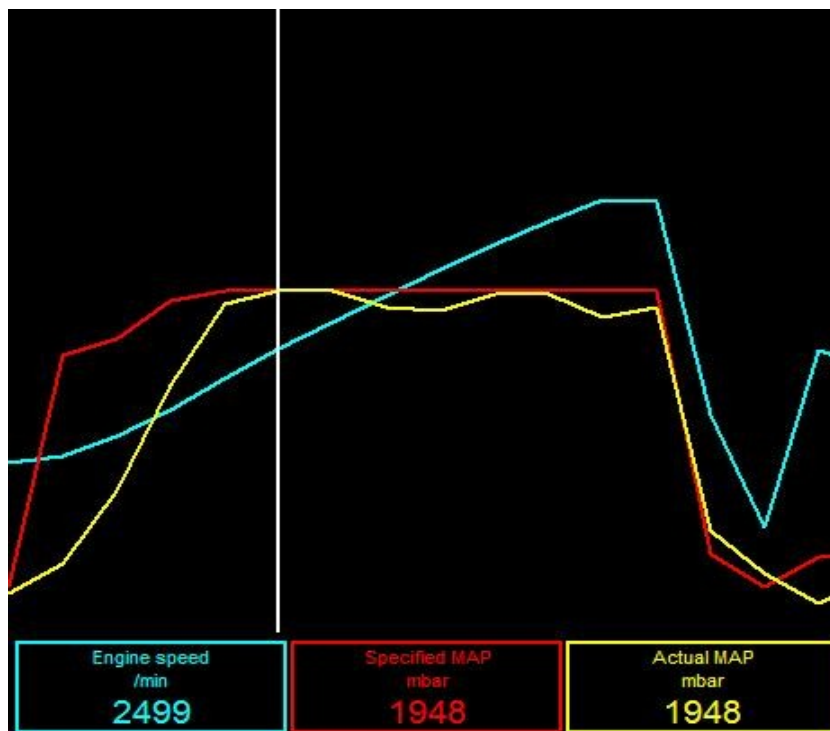


Obr. 32 Regulace po opravě

Provedeme montáž jednotlivých částí a kompletaci turbodmychadla. Při montáži turbodmychadla dbáme na čistotu. Především musíme nalít do středového dílu mazacím

otvorem olej, aby nedošlo k běhu na sucho, než se dostane mazací olej do středového dílu.

Pro ověření zda byla oprava úspěšná a nedochází k diferenci tlaků, provedeme sériovou diagnostiku pomocí softwaru VAG-COM.



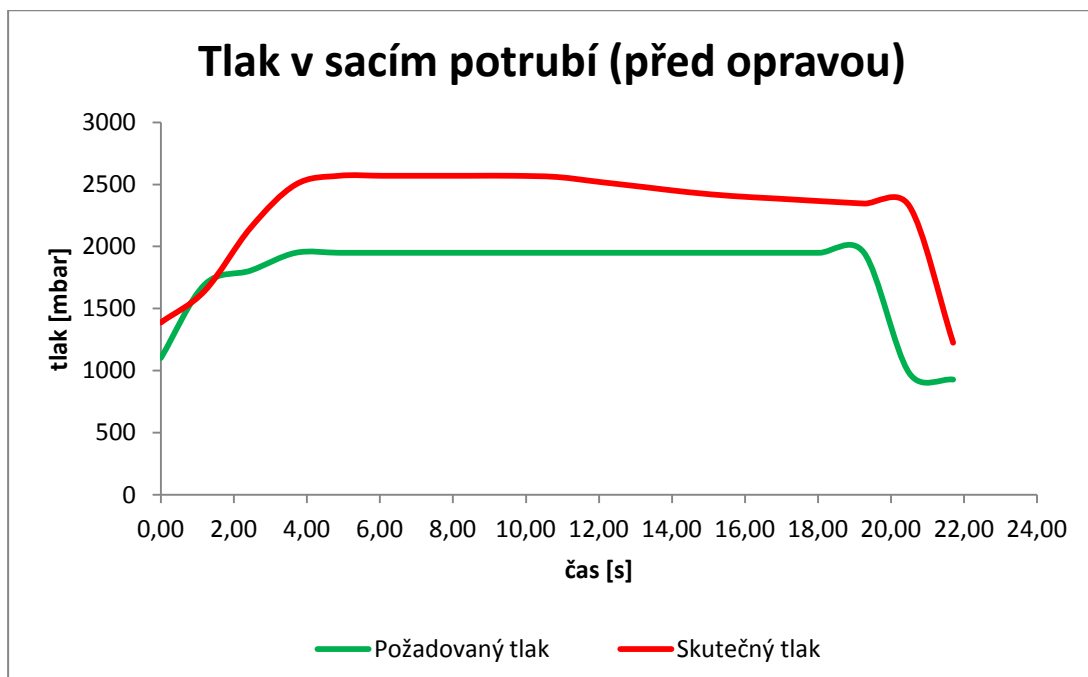
Obr. 33 Výstup ze softwaru VAG po opravě turbodmychadla

Z grafu (obr. 33) je patrné, že k diferenci tlaku již nedochází a proto můžeme tuto metodu opravy prohlásit za úspěšnou.

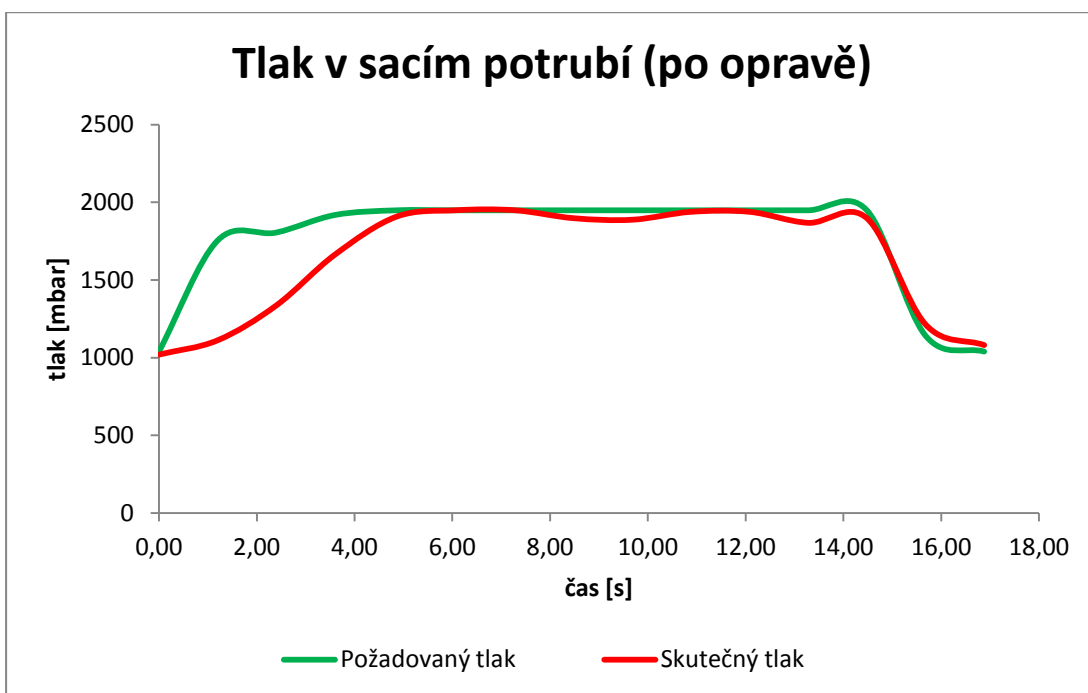
5 Vyhodnocení výsledků

Při porovnání grafů (obr. 34, 35), vytvořených před a po opravě, můžeme vidět, že křivka skutečného tlaku v sání se přibližuje ke křivce tlaku požadovaného. Z toho vyplývá, že tento druh opravy plní svůj účel. V grafu po opravě je jasně viditelný tzv. „turboefekt“, neboli prodleva. Je patrné, že turbodmychadlo nedodá požadovaný tlak okamžitě, ale nabývá postupně. Tento nástup je viditelný v tabulce (tab. 2), ze které je zřejmé, že požadovaného tlaku turbodmychadlo dosáhne již při 2400 otáčkách. Tento efekt je zcela běžný jev a nepokládá se tedy za vadu.

Vyčištění regulace plnicího tlaku můžeme tedy prohlásit za metodu relevantní.



Obr. 34 Graf před opravou



Obr. 35 Graf po opravě

Tab. 1 Hodnoty před opravou

Časový krok [s]	otáčky [min]	Požadovaný tlak [mbar]	Skutečný tlak [mbar]	Poměr sepnutí [%]
0,00	1239	1102	1387	50,2
1,20	1407	1693	1642	43,0
2,46	1659	1805	2152	70,5
3,69	1932	1948	2499	93,6
4,88	2184	1948	2570	94,4
6,06	2436	1948	2570	94,4
7,27	2667	1948	2570	94,4
8,47	2835	1948	2570	94,4
9,65	3003	1948	2570	94,4
10,85	3066	1948	2560	92,4
12,05	3045	1948	2519	92,4
13,24	3024	1948	2479	92,4
14,44	3003	1948	2438	92,4
15,64	3003	1948	2407	92,4
16,83	3024	1948	2387	92,4
18,03	3024	1948	2366	92,4
19,26	3003	1948	2346	92,4
20,50	3129	979	2326	92,4
21,70	1911	928	1224	92,4

Tab. 2 Hodnoty po opravě

Časový krok [s]	otáčky [min]	Požadovaný tlak [mbar]	Skutečný tlak [mbar]	Poměr sepnutí [%]
0,00	1512	1040	1020	37,1
1,20	1512	1754	1112	25,1
2,40	1659	1805	1336	24,7
3,60	1869	1918	1663	42,2
4,86	2142	1948	1907	52,6
6,08	2415	1948	1948	55,8
7,28	2667	1948	1948	56,2
8,48	2877	1948	1897	53,8
9,68	3108	1948	1887	53,0
10,88	3339	1948	1938	55,8
12,08	3549	1948	1938	57,4
13,28	3738	1948	1867	54,2
14,48	3927	1948	1897	53,0
15,68	2499	1142	1214	38,9
16,88	1008	1040	1081	24,7

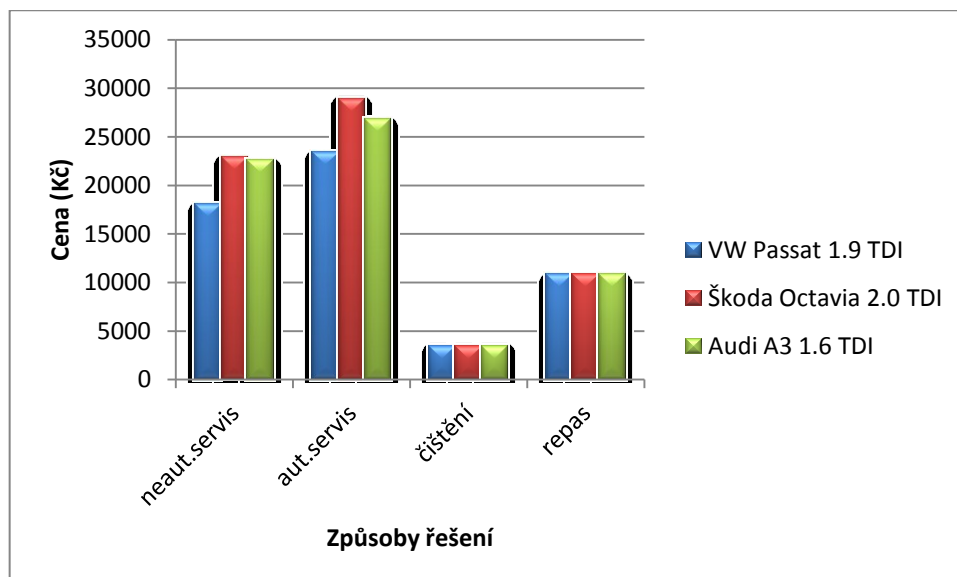
V tabulkách jsou hodnoty uvedeny v mbar, přičemž platí převod 1 mbar = 0,1 kPa.

5.1 Ekonomické hledisko

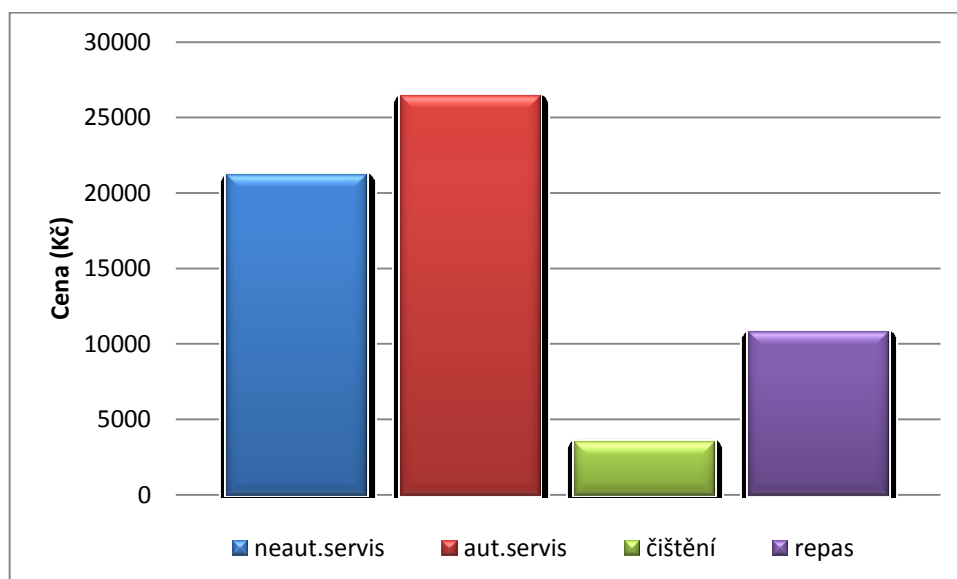
Oprava turbodmychadla je cenově velmi náročná záležitost. Výše ceny se liší dle druhu automobilu a konkrétního způsobu opravy.

Způsob opravy volíme dle rozsahu poškození daného turbodmychadla. Existuje několik způsobů řešení. Jednak výměna turbodmychadla za nové nebo oprava stávajícího. Pokud je zvolena kompletní výměna, jsou dvě možnosti. Využít služeb autorizovaného servisu, což je nejvíce nákladné řešení, nebo oprava v jiném autoservisu, kde jsou ceny podstatně nižší. Při opravě stávajícího turbodmychadla jsou taktéž dvě varianty. První variantou je generální oprava turbodmychadla, neboli „repas“. V tomto případě dojde k výměně poškozeného turbodmychadla za nové již opravené. Druhá varianta představuje kompletní vyčištění regulace plnicího tlaku.

Porovnání těchto možných variant je sestaveno pro tři různé typy automobilů v grafu (obr. 36). Jsou zde vidět cenové kategorie jednotlivých oprav.



Obr. 36 Cenové kategorie jednotlivých oprav



Obr. 37 Cenový průměr

Z grafů je patrné, že z ekonomického hlediska je nejvýhodnější variantou opravy vyčištění regulace plnicího tlaku. Toto však není možné vždy provést.

V tomto případě je u vozidel s novějším datem výroby a nižším počtem najetých kilometrů cenově zajímavější využít repasovaného turbodmychadla namísto výměny za nové.

5.2 Prodloužení životnosti

Životnost turbodmychadla je velmi ovlivněna údržbou a jízdním stylem. Údržba se provádí dle doporučení a pokynů výrobce vozidla.

1. Pravidelná výměna oleje, olejového a vzduchového filtru
2. Kontrola tlaku oleje

Dále životnost lze ovlivnit pozvolným zahříváním, kdy při studeném startu motoru je vozidlo zpočátku nutno používat šetrně tj. razantně neakcelerovat a nevyužívat plný výkon. Tohoto režimu je vhodné se držet do doby zahřátí oleje na provozní teplotu 70°C.

Po režimu vysokého výkonu např. jízda po dálnici je doporučeno před vypnutím nechat běžet motor ve volnoběžných otáčkách po dobu 2 minut. Během této doby dojde ke zchlazení především turbínové části a předejde se zakarbonování a deformaci.

6 Závěr

Tato práce byla věnována diagnostice přeplňovaných spalovacích motorů. Obsahuje shrnutí jednotlivých tematických okruhů potřebných k pochopení dané problematiky. Jedná se převážně o přiblížení konkrétních metod přeplňování, principu a konstrukce turbodmychadla a jeho regulace.

Práce se taktéž zabývala poruchovostí turbodmychadel. Bylo provedeno zkušební měření a následná oprava nesprávně pracující regulace. Při opětovném měření po opravě bylo dosaženo pozitivního výsledku a regulace plnila správně svoji funkci.

Závěrem bylo provedeno ekonomické zhodnocení dané situace a bylo vydedukováno její nejlepší možné řešení.

Literatura

- [1] Vlk, F. *Automobilová technická příručka*. 1. vydání. Brno: Vlk, 2003. 791 s. ISBN 80-238-9681-4.
- [2] Vlk, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: Vlk, 2001. 576 s. ISBN 80-238-6573-0.
- [3] Vlk, F. *Příslušenství vozidlových motorů*. 1. vydání. Brno: Vlk, 2002. 338 s. ISBN 80-238-8755-6.
- [4] Hofmann, K. *Alternativní pohony*. Skripta. VUT FSI, Brno
- [5] Jan, Z., Ždánský, B., *Automobily III - Motory*. 4. přepracované vydání. Brno: Avid s.r.o., 2007. 165 s. ISBN 978-80-903671-7-3.
- [6] Jan, Z., Ždánský, B., *Automobily IV - Příslušenství*. 2. vydání. Brno: Avid s.r.o., 2008. 313 s. ISBN 978-80-87143-08-7.
- [7] Štěrbá, P., Čupera, J., Polcar, A., *Automobily VIII – Diagnostika motorových vozidel II*. 1. vydání. Brno: Avid s.r.o., 2011. 181 s. ISBN 978-80-87143-19-3.
- [8] Horejš, K., Motejl, V., a kol., *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů – II. díl Motory, paliva, emise, diagnostika*. 4. vydání. Littera, 2009. 386 s. ISBN 978-80-85763-52-2.
- [9] *Turbocharger: Damage Profiles, Causes, And Prevention*

Dostupné z WWW:

<http://www.mahle-aftermarket.com/MAHLE_Aftermarket_NA/en/Catalogs-&-Literature/Literature/Turbochargers>